نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، ص. ۴۷۹-۴۶۵
شاپا: ۴۷۳۰ - ۲۰۰۸

Journal of Horticultural Science
Vol. 34, No.3, Fall 2020, P. 465-479
ISSN: 2008 - 4730

مقاله علمی-پژوهشی

اثر روش‌های کاربرد و منابع مختلف کود آهن بر پارامترهای رویشی و فیزیولوژیکی گیاه گوجه‌فرنگی در سیستم آب‌کشت

مهدی مرادی[1*]- حمیدرضا روستا[2]- احمد استاجی[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۷/۰۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۲۴

چکیده

به‌منظور تعیین بهترین روش کاربرد و نوع کود آهن بر جذب و تاثیر آن بر فرآیند فتوسنتز و رشد گیاه گوجه‌فرنگی، آزمایشی بصورت فاکتوریل، در قالب طرح کاملاً تصادفی با روش کاربرد کود (اضافه کردن به محیط ریشه و محلول پاشی) و نوع کود آهن ($FeSO_4$، Fe-DTPA، Fe-EDTA و Fe-EDDHA) با ۳ تکرار اجرا گردید. نتایج نشان داد که ارتفاع، وزن تر و وزن خشک گیاه تحت تاثیر روش کاربرد و نوع کود آهن قرار گرفت، به طوری که بیشترین و کمترین مقدار پارامترهای مذکور به ترتیب در تیمار Fe-EDTA در محیط ریشه و محلول‌پاشی $FeSO_4$ بدست آمد. مقدار آهن ریشه و شاخساره گیاه نیز تحت تاثیر نوع کود آهن و روش کاربرد قرار گرفت به‌طوری که تیمار Fe-EDTA در محیط ریشه و محلول‌پاشی آن به ترتیب بیشترین مقدار آهن ریشه و شاخساره را به خود اختصاص داد. همچنین عناصر میکرو و برخی از عناصر پرمصرف نظیر منیزیم و فسفر تحت تاثیر نوع کود و روش کاربرد عناصر قرار گرفتند. با توجه به تاثیر معنی‌دار کودهای مذکور و روش کاربرد، حداکثر محتوای کلروفیل (a، b و کل)، نسبت کلروفیل فلورسانس متغیر به حداکثر (F_v/F_m) و شاخص کارایی دستگاه فتوسنتزی (PI) برگ‌های جوان و پیر در تیمار Fe-EDTA از طریق ریشه بدست آمد و بیشترین مقدار کارتنوئید و قندهای محلول به ترتیب در تیمار $FeSO_4$ در محیط ریشه و محلول پاشی آن بدست آمد. لذا با توجه به نتایج این آزمایش، کود آهن Fe-EDTA بیشترین تاثیر را نسبت به سایر منابع آهن بر رشد رویشی گوجه‌فرنگی داشت.

واژه‌های کلیدی: آب‌کشت، تغذیه، گوجه‌فرنگی، منابع آهن

مقدمه

امروزه با توجه به محدودیت کمی و کیفی منابع آب و خاک و لزوم تامین مواد غذایی برای جمعیت رو به رشد کشور، اتخاذ سیاست‌های جدید در این زمینه ضروری است. بر همین اساس در سال‌های گذشته توجه ویژه‌ای به تولید محصولات کشاورزی در محیط‌های کنترل‌شده به ویژه نظام‌های کشت بدون خاک معطوف شده است. لذا به منظور تولید محصول با کیفیت بالا در این‌گونه سیستم‌های کشت نیاز به اجرای یک سیستم مدیریتی قوی به ویژه در زمینه تغذیه می‌باشد (۱۵). به طور کلی امروزه ارتباط بین غلظت عناصر غذایی با کیفیت محصول به خوبی مشخص شده و در این زمینه تحقیقات زیادی نیز انجام شده است. عناصر ضروری ممکن است در ساختار گیاه و یا برخی فرآیندهای سوخت و سازی آن مورد نیاز باشند، به‌طوری که کمبود آنها سبب بروز نارسایی‌هایی در گیاه شده، که اغلب به صورت علائمی بر روی اندام‌های مختلف و یا کل گیاه قابل مشاهده می‌باشد. در نقطه مقابل بیشبود برخی عناصر سبب بروز اختلالاتی در رشد و نمو گیاه می شود (۱۲).

آهن یکی از عناصر ضروری و حیاتی برای تمام موجودات زنده محسوب می‌شود و یکی از عناصری می‌باشد که در بسیاری از فرایندهای متابولیکی، نظیر فتوسنتز و تنفس نقش دارد (۱۶). دسترسی گیاه به آهن یکی از عوامل محدود کننده تولید محصولات کشاورزی می‌باشد و با توجه به اینکه عنصر آهن در بافت خاک به وفور یافت می‌شود ولی به دلیل حلالیت پایین، گیاه قادر به جذب این عنصر از خاک نیست (۳۹). لذا کمبود آهن سبب ایجاد اختلالاتی در سیستم‌های فتوسنتزی و کاهش مقدار کلروفیل می‌گردد و در میان

۱- مدرس گروه علوم و مهندسی باغبانی، مجتمع آموزش عالی کشاورزی و دامپروری تربت جام، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: moradi.ob@gmail.com)
۲- استاد گروه علوم باغبانی، دانشکده علوم زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران
۳- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی باغبانی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان، ایران

DOI: 10.22067/jhorts4.v34i3.82785

فرآیندهای مختلف فتوسنتز، فتوسیستم II حساسیت بیشتری به کمبود آهن نسبت به فتوسیستم I دارد، زیرا کمبود آهن باعث تخریب و تجزیه پروتئین D1 که در مرکز واکنش فتوسیستم ۲ قرار دارد و همچنین پروتئین‌هایی که در سطح تیلاکوئید قرار دارند، می‌شود (۲ و ۲۵). همچنین کمبود آهن سبب تغییر در غلظت و جذب یکسری عناصر نیز می‌گردد (۳۶). از طرفی آهن از مهمترین ترکیبات آنزیم‌های مرتبط با انتقال الکترون مثل سیتوکروم، پروتئین و سولفور آهن می‌باشد (۳۷). در پژوهش‌های انجام گرفته برای تعیین بهترین منبع جهت جلوگیری از اختلالات کمبود آهن در گیاهان نتایج متناقضی بدست آمده است. به طوری که در یک تحقیق کاربرد منابع مختلف آهن روی گیاه فلفل نشان داد که پارامترهای رویشی، غلظت عناصر و پارامترهای فوسنتزی تحت تاثیر منابع مختلف آهن قرار گرفت و تیمار کودی $FeSO_4$ به عنوان منبع کود آهن مناسب برای محلول‌پاشی بر روی گیاه فلفل مدنظر گرفته شد (۳۱). همچنین کاربرد آمینوکلات‌های مختلف آهن روی فعالیت آنزیمی و مقدار عناصر بافت گیاه گوجه فرنگی تحت شرایط تنش خشکی متفاوت بود و تیمار کلات گلایسین آهن بهترین نتیجه را در پی داشت (۷). ولی کاربرد کودهای مختلف آهن تفاوت معنی‌داری روی خصوصیات رشدی گیاه آفتابگردان و ذرت نداشت (۳۷).

روش کاربرد عناصر غذایی نیز می‌تواند بر خصوصیات رشدی گیاه موثر باشد به طوری که در پژوهشی کاربرد کود آهن به دو روش محلول پاشی و اضافه کردن به محلول غذایی تحت شرایط کمبود آهن در گیاه توت‌فرنگی نشان داد که گیاهانی که در کود آهن به محلول غذایی آنها اضافه گردید از رشد بهتر و میوه‌ی با کیفیت بهتر برخوردار بودند (۲۵). همچنین کاربرد کودهای مختلف آهن به دو روش محلول پاشی و اضافه کردن به محیط ریشه سبب تغییر در رشد گیاه اسپاتی‌فیلوم[1] گردید (۱۸). لذا با توجه به افزایش روز افزون استفاده از سیستم‌های کشت بدون خاک و اجرای شیوه‌های مدیریتی دقیق در گلخانه به منظور افزایش کیفیت و کمیت محصولات، آزمایشی با هدف تعیین بهترین روش کاربرد و نوع کود آهن بر خصوصیات رشدی گیاه گوجه فرنگی در سیستم آب‌کشت صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش بصورت آزمایش فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی بر روی گیاه گوجه‌فرنگی (*Lycopersicon esculentum* Mill.) رقم رد استون در گلخانه‌ی دانشکده کشاورزی دانشگاه ولی‌عصر (عج) رفسنجان (دمای روز ۳±۲۵ درجه سانتی‌گراد، دمای شب ۳±۲۰ درجه سانتی‌گراد و رطوبت حدود ۶۲-۵۵ ٪) انجام شد. بذرهای گوجه فرنگی در گلدان‌های یونولیتی ۴ لیتری حاوی محیط کشت پرلیت کشت شدند. در هفته اول بذرها هر روز در دو نوبت صبح و عصر با آب دیونیزه آبیاری شدند. با شروع هفته دوم، ۲۰۰ میلی‌لیتر محلول غذایی (جدول ۱) جایگزین آب آبیاری شد (۳۲). گیاهچه‌ها در مرحله ۴ برگی به بستر کشت اصلی که گلدان‌های مشبک کوچک پر شده با محیط کشت پرلیت بودند، منتقل شدند. در طول هفته به طور روزانه pH و هدایت الکتریکی (EC) محلول غذایی اندازه‌گیری و در محدوده ۷-۶/۵ =pH و ۲-۱/۵ =EC دسی زیمنس بر متر تنظیم می‌شد. جهت تأمین آهن از ۴ منبع متفاوت سولفات آهن ($FeSO_4$)، دی‌اتیلن تری‌آمین پنتااستیک اسید (Fe-DTPA)، اتیلن دی‌آمین تترااستیک اسید (Fe-EDTA) و اتیلن دی‌آمین بیس هیدروکسی فنالاتیک اسید (Fe-EDDHA) به دو روش اضافه کردن به محلول غذایی و محلول‌پاشی گیاه (با غلظت یکسان ۲۰ میکرومولار) صورت گرفت. محلول غذایی هر هفته یک‌بار تعویض شد. اعمال تیمار کودهای آهن بعد از انتقال نشاءها و همزمان با تعویض محلول صورت می‌گرفت. پس از اعمال تیمارها به مدت حدود ۷۰ روز، گیاهان برداشت و به منظور اندازه‌گیری فاکتورها به آزمایشگاه منتقل شدند.

در پایان آزمایش، پارامترهای رویشی نظیر ارتفاع، تعداد گره، تعداد گل، قطر ساقه، وزن تر و وزن خشک ریشه و اندام هوایی اندازه‌گیری شد. به منظور اندازه‌گیری وزن تر و وزن خشک، گیاه از گلدان بیرون آورده شد و به دو قسمت بخش هوایی و ریشه تقسیم شد و وزن تر ریشه و ساقه با ترازوی دقیق توزین گردید سپس نمونه‌ها به‌مدت ۴۸ ساعت در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته و وزن خشک ریشه و ساقه اندازه‌گیری گردید.

برای اندازه‌گیری فلورسانس کلروفیل از دستگاه Chlorophyll Fluorimeter (مدل Pocket PEA، کمپانی Hansatech ساخت کشور انگلستان) استفاده گردید. این دستگاه میزان فلورسانس کلروفیل را بر اساس پارامتر F_v/F_m و PI ثبت نمود. روش کار بدین صورت بود که از هر گلدان دو برگ بالغ و دو برگ جوان از گیاه انتخاب و در گیره‌های مخصوص جهت ایجاد شرایط تاریکی به مدت ۱۵ دقیقه قرار گرفتند و پس از این مدت میزان فلورسانس کلروفیل ثبت گردید. برای اندازه‌گیری کلروفیل a، b، کل و کارتنوئید ابتدا ۰/۲۵ گرم برگ تازه را خرد و آن را در یک هاون چینی سرد و با ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد ساییده تا به صورت توده یکنواختی درآید سپس مخلوط حاصل در لوله‌های فالکون ۲۰ میلی‌لیتر ریخته شده و به مدت ۱۰ دقیقه با دور در دقیقه (rpm) ۳۵۰۰ سانتریفیوژ گردید. میزان جذب نور محلول رویی با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل T80 UV/VIS ساخت کشور چین) در طول موج‌های ۴۷۰، ۶۴۶/۶ و ۶۶۳/۶ نانومتر قرائت گردید (۲۹).

1- *Spathyphyllum illusion*

برای اندازه‌گیری غلظت عناصر در گیاه، ۰/۵ گرم از برگ‌های بالغ و ریشه خشک شده با ترازوی حساس با دقت ۰/۰۰۱ وزن و در کروزه چینی تمیز خشک ریخته شد. سپس به مدت ۶ ساعت در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. به خاکستر بدست آمده، ۱۰ میلی‌لیتر اسید هیدروکلریک ۲ نرمال اضافه و روی هات پلیت با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. بعد از این که رنگ آن به زرد لیمویی تغییر نمود آن را از کاغذ صافی عبور داده و حجم عصاره‌ی حاصل با آب مقطر به ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد. میزان غلظت عناصر پتاسیم با استفاده از شعله‌سنج (مدل PFP7، ساخت کشور آلمان) و کلسیم، منیزیم، روی، مس، بر، منگنز و آهن در گیاه با استفاده از دستگاه جذب اتمی (مدل GBCAVANTA-PM، ساخت کشور استرالیا) اندازه‌گیری شد (۳۳). جهت اندازه‌گیری فسفر که به روش آمونیوم مولیبدات و آمونیم وانادات (زرد) انجام شد، ابتدا ۵ میلی‌لیتر از عصاره تهیه شده در مرحله قبل را با ۱۰ میلی‌لیتر از محلول آمونیوم مولیبدات وانادات مخلوط کرده و در نهایت توسط آب مقطر به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانیده شد. در نهایت غلظت فسفر با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر (مدل T80 UV/VIS ساخت کشور چین) با طول موج ۴۷۰ نانومتر تعیین شد (۲۳). جهت تعیین قندهای محلول ۰/۵ گرم از برگ‌های بالغ و جوان با استفاده از ۱۰ میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد در هاون چینی کوبیده و محلول حاصل را در لوله فالکون ریخته و سپس ۱۰ دقیقه در دستگاه سانتریفیوژ با سرعت ۳۵۰۰ دور در دقیقه (rpm) قرار داده شد. سپس ۰/۱ میلی‌لیتر از عصاره را با ۳ میل‌لیتر آنترون (۱۵۰ میلی‌گرم آنترون به علاوه ۱۰۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک ۷۲ درصد) مخلوط شده و محلول بدست آمده ۱۰ دقیقه در حمام آب گرم قرار داده شد. سپس با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر در طول موج ۶۲۵ نانومتر قرائت و مقدار قند محلول محاسبه گردید (۱۰).

آنالیز داده‌های آماری حاصل از این آزمایش با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS انجام گرفت و مقایسه میانگین تیمارها در سطح احتمال ۱ درصد با آزمون توکی محاسبه گردید.

نتایج و بحث

پارامترهای رویشی

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس (جدول ۲) نشان می‌دهد که روش تیمار و نوع کود آهن و اثر متقابل آنها بر خصوصیات رویشی نظیر ارتفاع، تعداد گره، وزن تر شاخساره و ریشه، وزن خشک شاخساره و ریشه در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار گردید، ولی اثر متقابل روش تیمار و نوع کود آهن تاثیر معنی‌داری بر قطر ساقه و تعداد گل نداشت. به طوری که مقایسه میانگین بین تیمارها حاکی از آن است که حداکثر و حداقل ارتفاع، تعداد گره، وزن تر شاخساره و ریشه، وزن خشک شاخساره و ریشه به ترتیب در تیمار کاربرد Fe-EDTA به محیط ریشه و محلول پاشی FeSO4 بدست آمد (جدول ۳). بر اساس نتایج بدست آمده، کاربرد Fe-EDTA سبب افزایش قطر ساقه و تعداد گل گردید همچنین در بین روش‌های کاربرد نیز اضافه کردن کود آهن به محیط ریشه در مقایسه با محلول پاشی باعث افزایش قطر ساقه و تعداد گل شد (جدول ۴).

آهن یکی از عناصر ضروری برای رشد گیاهان می‌باشد که در صورت کمبود این عنصر سنتز کلروفیل مختل شده و برگ‌های گیاه کلروزه شده و در نهایت منجر به زوال برگ می‌گردد و این امر سبب می‌شود که سطح فتوسنتز کننده گیاه کاهش یابد (۲۷). همچنین کمبود آهن مانع از تشکیل برگ‌های جدید شده و رشد گیاه متوقف می‌گردد (۴). تیمار آهن موجب افزایش رشد گیاه و افزایش کیفیت گل رز نسب به تیمار شاهد گردید که این امر را به افزایش مقدار سایتوکنین و جیبرلین تحت تاثیر کود آهن نسبت دادند (۱). گزارشات زیادی از تاثیر کاربرد کودهای مختلف آهن بر خصوصیات رشد گیاه وجود دارد؛ گیاهان تیمار شده با کودهای آهن حاوی اسیدهای آمینه تحت شرایط تنش منجر به افزایش ماده خشک اندام‌های هوایی گوجه فرنگی گردید (۷). بیشترین تعداد شاخه، قطر ساقه، وزن تر و وزن خشک گیاه فلفل در سیستم آکواپونیک تحت تاثیر منابع مختلف آهن در تیمار محلول‌پاشی سولفات آهن بدست آمد (۳۱). همچنین کاربرد کلات آهن و نانو کود آهن بر پارامترهای رویشی گیاه ریحان، سبب افزایش خصوصیات رویشی این گیاه نسبت به تیمار شاهد گردید که در این میان تیمار نانو کود آهن تاثیر بهتری داشت (۲۶). تفاوت از لحاظ نوع کود مصرفی بر خصوصیات رویشی گیاه، احتمالاً به خاطر مقدار آهنی است که تحت شرایط مختلف از خود آزاد می‌کند و با توجه به نقشی که آهن در گیاه ایفا می‌کند می‌توان استنباط کرد که بین منابع مختلف آهن تفاوت معنی‌داری وجود دارد.

روش کاربرد نیز می‌تواند بر خصوصیات رشدی موثر باشد و تحقیقات زیادی مبنی بر روش‌های مختلف کاربرد کودها گزارش گردید به طوری که محمدی پور و همکاران (۱۸) گزارش کردند که با کاربرد کود نانو کلات آهن، سولفات آهن، Fe-EDTA و Fe-EDDHA به دو روش محلول پاشی و اضافه کردن به محیط کشت (خاک) گیاه اسپاتی‌فیلوم، تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین نوع کود و روش کاربرد وجود داشت به طوری که بیشترین ارتفاع و وزن خشک گیاه در تیمار کودی Fe-EDDHA به محیط خاکی بدست آمد. وزن تر و خشک گیاه زمانی که کود آهن به دو صورت محلول پاشی و اضافه کردن به محیط ریشه تحت شرایط کبود آهن استفاده گردید، افزایش یافت، ولی استفاده آهن به همراه محلول غذایی تاثیر بهتری بر پارامترهای وزن تر و خشک گیاه توت فرنگی نسبت به محلول‌پاشی داشت (۲۵)، که با نتایج این تحقیق مطابقت داشت. تفاوت در روش تغذیه و تاثیر آن بر خصوصیات رشد گیاه را می‌توان اینگونه استنباط

کرد که زمانی که آهن از طریق سیستم ریشه وارد بافت گیاه می‌شود به تمام قسمت‌های گیاه انتقال پیدا کرده در نهایت فعالیت آنزیم‌هایی که در آنها آهن به عنوان کوفاکتور عمل می‌کند در تمام قسمت‌های گیاه فعال می‌شود ولی در روش محلول پاشی اضافه شدن آهن موضعی بوده و اثرات آن کمتر می‌باشد (۲۵).

عناصر معدنی برگ و ریشه

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۵ و ۸) حاکی از آن است که اثر متقابل روش تیمار و منابع مختلف آهن بر میزان منیزیم، روی، مس، آهن و منگنز ریشه و ساقه و فسفر بخش هوایی گیاه گوجه‌فرنگی معنی‌دار گردید به‌طوری که بیشترین مقدار منیزیم ریشه و بخش هوایی در تیمار کاربرد سولفات آهن به محیط ریشه گزارش گردید و کمترین مقدار فسفر در تیمار محلول‌پاشی سولفات آهن مشاهده گردید ولی بین سایر تیمارها تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۷). همچنین نتایج مربوط به مقایسه میانگین بین تیمارها (جدول ۹) نشان داد که بیشترین مقدار آهن موجود در ریشه و بخش هوایی گیاه گوجه‌فرنگی به ترتیب در تیمار کاربرد Fe-EDTA به صورت محلول‌پاشی و اضافه کردن به محیط ریشه بدست آمد و محلول‌پاشی Fe-EDDHA بیشترین مقدار منگنز، روی و مس بخش هوایی را به خود اختصاص داد. کاربرد Fe-EDTA، Fe-DTPA و Fe-EDDHA به ترتیب حداکثر تاثیر را بر مقدار روی، مس و منگنز ریشه داشت. ولی در ارتباط با کلسیم و پتاسیم ریشه و بخش هوایی، نتایج نشان دادند که اثر متقابل بین منابع آهن و روش کاربرد معنی‌دار نبود، ولی اثرات ساده‌ی روش تیمار و منابع آهن معنی‌دار گردید. کاربرد منابع مختلف آهن از طریق ریشه بیشترین مقدار کلسیم و پتاسیم بخش هوایی و ریشه را به خود اختصاص داد و در بین منابع مختلف آهن کاربرد Fe-DTPA بیشترین تاثیر را بر مقادیر کلسیم و پتاسیم ریشه و بخش هوایی داشت (جدول ۶).

نتایج تحقیقات روستا و حمیدپور (۳۰) نشان داد که محلول‌پاشی Fe-EDDHA تحت شرایط آکواپونیک و هیدروپونیک سبب افزایش مقدار پتاسیم، منیزیم، آهن و کاهش غلظت عناصر روی، مس و منگنز نسبت به تیمار شاهد در گیاه گوجه‌فرنگی گردید. همچنین کاربرد منابع مختلف آمینوکلات آهن تحت شرایط تنش سبب تغییر در غلظت عناصر آهن، روی و پتاسیم گردید به طوری که منبع کودی که تاثیر بیشتری بر مقدار آهن گیاه داشت سبب افزایش مقدار پتاسیم و کاهش روی برگ‌ها گردید (۷). در آزمایشی مقدار عناصر منگنز و روی تحت شرایط کمبود آهن افزایش پیدا کرد ولی زمانی که کمبود آهن بهبود پیدا کرد مقدار این عناصر کاهش یافت (۳). گیاهان سویای تیمار شده با غلظت‌های مختلف آهن سبب تغییر در مقدار آهن ریشه و بخش هوایی گردید به‌طوری‌که بیشترین مقدار آهن در تیمار کاربرد ۳۰۰ میلی‌گرم بر لیتر به‌صورت محلول‌پاشی بدست آمد (۲۸). تاثیر تیمار آهن و تفاوت در نوع کود مصرفی بر غلظت عناصر بافت گیاه احتمالاً به خاطر تاثیر آهن بر افزایش رشد شاخساره و رشد ریشه بوده و در نهایت مقدار جذب عناصر پر مصرف نظیر فسفر، پتاسیم و منیزیم افزایش یافته و از طرف دیگر به خاطر وجود رقابت در جذب ریز مغذی‌ها به خاطر وجود کانال‌های انتقال مشابه در غشا سلولی، جذب سایر ریز مغذی‌ها نظیر مس، روی و منگنز تحت تاثیر آهن قرار گرفته و مقدار جذب آنها کاهش می‌یابد (۱۷).

همچنین در آزمایشی کاربرد آهن و منگنز به طریق محلول‌پاشی و اضافه کردن به محیط ریشه منجر به تغییراتی در غلظت آهن و منگنز بخش هوایی و ریشه گیاه سویا گردید به‌طوری که بیشترین مقدار آهن و منگنز ریشه و بخش هوایی در تیمار محلول‌پاشی آهن بدست آمد (۱۹). مورگان (۲۰) طی ارزیابی نشان داد که محلول‌پاشی آهن تاثیری بر مقدار منگنز بافت گیاه سویا نداشت. همچنین کاربرد کودهای مختلف آهن به دو روش محلول‌پاشی و کاربرد خاکی سبب تغییر در مقدار پتاسیم، فسفر، منیزیم، آهن، روی و منگنز گیاه اسپاتی‌فیلوم گردید (۱۸). محلول‌پاشی آهن روی گیاهان توت‌فرنگی تحت شرایط کمبود آهن، بیشترین غلظت روی و آهن برگ را به خود اختصاص داد ولی اضافه کردن آهن به محلول غذایی و کاربرد از طریق ریشه بیشترین تاثیر را بر مقدار فسفر، پتاسیم، منیزیم و کلسیم داشت (۲۵) که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد.

جدول ۱- ترکیب محلول غذایی مورد استفاده برای تغذیه گوجه فرنگی

Table 1- The composition of nutrient solution used for tomato nutrition

ترکیب شیمیایی Chemical composition	غلظت Concentration
$Ca(NO_3)_2.4H_2O$ (mM)	5
KH_2PO_4 (mM)	0.2
K_2SO_4 (mM)	0.2
$MgSO_4.7H_2O$ (mM)	0.3
NaCl (mM)	0.1
$MnSO_4.H_2O$ (µM)	7
$ZnCl_2$ (µM)	0.7
CuSO4.5H2O (µM)	0.8
H_3BO_3 (µM)	2
$Na_2MoO_4.2H_2O$ (µM)	0.8

محتوای رنگدانه‌های فتوسنتزی برگ

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱۰) نشان داد که اثرات ساده و متقابل منابع مختلف آهن و روش تیمار بر محتوای قندهای محلول برگ‌های جوان، رنگدانه‌های فتوسنتزی کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کارتنوئیدهای برگ‌های جوان و بالغ گیاه گوجه‌فرنگی در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود، ولی اثر متقابل و نوع کود آهن تاثیری بر میزان قندهای محلول برگ‌های بالغ گیاه گوجه‌فرنگی نداشت.

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر روش‌های کاربرد و منابع مختلف آهن بر خصوصیات رویشی گیاه گوجه‌فرنگی

Table 2- ANOVA for the effect of application methods and different Fe sources on the vegetative characteristics of tomato

منابع تغییرات **Source of variation**	درجه آزادی **df**	ارتفاع **Height**	قطر ساقه **Stem diameter**	تعداد گره **Number of node**	تعداد گل **Number of flower**	وزن تر شاخساره **Fresh weight shoot**	وزن خشک شاخساره **Dry weight shoot**	وزن تر ریشه **Fresh weight root**	وزن خشک ریشه **Dry weight root**
		میانگین مربعات **Mean of square**							
روش‌های کاربرد Application methods	1	420.01**	1.17**	18.37**	30.37**	785.47**	352.74**	881.97**	5.73*
منابع آهن Sources of Fe	3	199.82**	0.59**	56.82**	106.04**	781.30**	356.53**	678.23**	21.87**
روش‌های کاربرد× منابع آهن Application methods*Sources of Fe	3	86.77*	0.084^{ns}	2.82**	5.26^{ns}	278.72*	133.53**	174.67*	3.44*
خطا Error	16	20.87	0.056	0.42	29.3	60.97	9.32	46.92	0.78
ضریب تغییرات (درصد) CV%		5.46	3.09	5.75	10.69	7.78	16.39	10.51	4.54

ns عدم تفاوت معنی‌دار و * و ** به ترتیب نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

ns: non- significant, * and **: significant at 5% and 1% of probability level, respectively.

جدول ۳- برهمکنش روش‌های کاربرد × منابع مختلف آهن بر خصوصیات رویشی گیاه گوجه‌فرنگی

Table 3- Interaction effect of application methods ×different Fe sources on the vegetative characteristics of tomato

روش کاربرد **Application methods**	منابع آهن **Sources of Fe**	ارتفاع گیاه **Plant height (cm)**	تعداد گره **No. of node (plant^{-1})**	وزن تر شاخساره **Shoot fresh weight (g plant^{-1})**	وزن خشک شاخساره **Shoot dry weight (g plant^{-1})**	وزن تر ریشه **Root fresh weight (g plant^{-1})**	وزن خشک ریشه **Root dry weight (g plant^{-1})**
محلول‌دهی از طریق ریشه Root-applied	Fe-EDDHA	89.4 ±2.9^{b}	13±0.6^{c}	108± 5.8^{b}	63.27±1.2^{b}	16.52±1.2^{bc}	4.62±0.3^{cd}
	Fe-EDTA	98.5 ±2.6^{a}	16.33±0.3^{a}	130.67±3.9^{a}	94±5.2^{a}	40.79±2.9^{a}	8.39±0.6^{a}
	Fe-DTPA	82.83 ± 2.6^{bc}	9.33±0.3^{d}	91.89±4.6^{c}	69.48۴±7.1^{b}	15.88±1.5^{bc}	4.96±1.1^{c}
	$FeSO_4$	80.67 ± 2.2^{c}	9.67±0.3^{d}	93.88±6.7^{c}	58.03±5.1^{b}	16.67±0.66^{bc}	5.09±1.3^{c}
محلول‌پاشی برگی Foliar spray	Fe-EDDHA	79.67 ± 2.6^{c}	9.67±0.3^{d}	91.67±3.75^{c}	55.67±1.5^{b}	13.59±0.82^{cd}	3.23±0.2^{de}
	Fe-EDTA	81.93 ± 3.5^{bc}	14.67±0.3^{b}	102.67±2.9^{bc}	67.33±1.5^{b}	19.44±2.9^{b}	7.40±0.56^{ab}
	Fe-DTPA	84.67 ± 2^{bc}	9.33±0.3^{d}	95±3.2^{bc}	55.75±2.4^{b}	15.63±1.4^{bcd}	6.02±0.2^{bc}
	$FeSO_4$	71.67 ± 2.4^{d}	7.67±0.3^{e}	89.33±3.8^{c}	55.54±0.5^{b}	10.52±0.62^{d}	2.51±0.1^{e}

حروف مشابه در هر ستون و گروه تیمار نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشد.

Columns and group’s treatments with the same letters are not significantly different at 5% of probability level using Duncan’s multiple range test.

جدول ٤- اثرات ساده محلول‌پاشی و نوع کود آهن بر قطر ساقه و تعداد گل‌های اولیه

Table 4- Simple effect of application methods and different Fe sources on stem diameter and number of primary flowers

تیمار Treatment	قطر ساقه Stem diameter (mm)	تعداد گل‌های اولیه Number of primary flowers (flower plant−1)
محلول‌دهی از طریق ریشه Root-applied	7.92±0.1[a]	18.08±0.67[a]
محلول‌پاشی برگی Foliar spray	7.48±0.05[b]	15.83±0.33[b]
Fe-EDDHA	7.77±0.2[a]	15.67±0.63[b]
Fe-EDTA	7.7±0.6[a]	21.67±1.8[a]
Fe-DTPA	8.04±0.1[a]	18.67±0.5[ab]
$FeSO_4$	7.28±0.2[b]	11.83±0.5[c]

حروف مشابه در هر ستون و گروه تیمار نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشد.

Columns and group’s treatments with the same letters are not significantly different at 5% of probability level using Duncan’s multiple range test.

جدول ۵- تجزیه واریانس اثر روش‌های کاربرد و منابع مختلف آهن بر غلظت عناصر پر مصرف در گیاه گوجه‌فرنگی

Table 5- ANOVA for the effect of application methods and different Fe sources on macronutrient concentrations (%DW) of tomato

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of square Mg		K		P		Ca	
		ریشه Roots	شاخساره Shoots	ریشه Roots	شاخساره Shoots	ریشه Roots	شاخساره Shoots	ریشه Roots	شاخساره Shoots
روش‌های کاربرد Application methods	1	0.022**	0.00039[ns]	0.03*	0.23**	0.31**	0.0002[ns]	0.006**	0.014**
منابع آهن Sources of Fe	3	0.03**	0.0004**	0.06**	0.2**	0.065**	0.0015**	0.007**	0.022**
روش‌های کاربرد× منابع آهن Application methods*Sources of Fe	3	0.007**	0.001**	0.002[ns]	0.002[ns]	0.0096**	0.0002[ns]	0.0003[ns]	0.001[ns]
خطا Error	16	0.002	0.0018	0.006	0.002	0.002	0.0002	0.0002	0.0007
ضریب تغییرات (درصد) CV%		2.23	2.25	13.39	3.57	11.93	11.05	4.58	4.54

ns عدم بدون تفاوت معنی‌دار و * و ** به ترتیب نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

ns: non- significant, * and **: significant at 5% and 1% of probability level, respectively.

جدول ٦- اثرات ساده دو روش کاربرد کود آهن و منابع مختلف آهن بر غلظت عناصر پر مصرف در گیاه گوجه‌فرنگی

Table 6- Simple effect of application methods and different Fe sources on macronutrient concentrations (%DW) of tomato

تیمار Treatment	Ca		P		K	
	شاخساره Shoots	ریشه Roots	شاخساره Shoots	ریشه Roots	شاخساره Shoots	ریشه Roots
محلول‌دهی از طریق ریشه Root-applied	0.33±0.1[a]	0.61±0.14[a]	0.133±0.005[a]	0.47±0.14[a]	1.35±0.006[a]	0.61±0.006[a]
محلول‌پاشی برگی Foliar spray	0.30±0.02[b]	0.56±0.02[b]	0.126±0.005[a]	0.54±0.033[a]	1.15±0.033[b]	0.54±0.033[a]
Fe-EDDHA	0.29±0.008[c]	0.54±0.14[c]	0.13±0.006[ab]	0.5±0.16[a]	1.23±0.1[b]	0.58±0.006[b]
Fe-EDTA	0.34±0.08[b]	0.61±0.14[b]	0.12±0.005[b]	0.26±0.15[c]	1.13±0.01[c]	0.52±0.03[bc]
Fe-DTPA	0.37±0.01[a]	0.66±0.01[a]	0.15±0.015[a]	0.29±0.15[bc]	1.51±0.17[a]	0.71±0.07[a]
Fe-$FeSO_4$	0.30±0.006[c]	0.53±0.012[c]	0.11±0.001[b]	0.36±0.11[b]	1.12±0.04[c]	0.47±0.04[c]

حروف مشابه در هر ستون و گروه تیمار نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشد.

Columns and group’s treatments with the same letters are not significantly different at 5% probability level using Duncan’s multiple range test

جدول ۷- برهمکنش دو روش کاربرد کود آهن × منابع مختلف آهن بر غلظت عناصر فسفر و منیزیم گیاه گوجه‌فرنگی

Table 7- Interaction effect of application methods ×different Fe sources on P and Mg concentrations (%DW) of tomato

منابع آهن Sources of Fe	روش‌های کاربرد Application methods	Mg		P	
		ریشه Roots	شاخساره Shoots	ریشه Roots	شاخساره Shoots
محلول‌دهی از طریق ریشه Root-applied	Fe-EDDHA	0.4±0.001[c]	0.54±0.001[a]	0.67±0.006[a]	0.13±0.006[a]
	Fe-EDTA	0.37±0.0003[d]	0.39±0.0005[c]	0.38±0.006[bc]	0.126±0.006[a]
	Fe-DTPA	0.37±0.0005[d]	0.4±0.0006[c]	0.36±0.006[bc]	0.15±0.006[a]
	Fe-$FeSO_4$	0.54±0.0002[a]	0.57±0.0009[a]	0.47±0.002[b]	0.126±0.002[a]
محلول پاشی برگی Foliar spray	Fe-EDDHA	0.52±0.004[ab]	0.55±0.0006[a]	0.33±0.015[dc]	0.13±0.015[a]
	Fe-EDTA	0.37±0.002[d]	0.38±0.0006[c]	0.15±0.002[e]	0.12±0.002[a]
	Fe-DTPA	0.5±0.0006[b]	0.44±0.0007[b]	0.22±0.006[e]	0.15±0.006[a]
	Fe-$FeSO_4$	0.54±0.001[a]	0.55±0.0001[a]	0.27±0.001[de]	0.1±0.001[a]

حروف مشابه در هر ستون و گروه تیمار نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشد.

Columns and group’s treatments with the same letters are not significantly different at 5% probability level using Duncan’s multiple range test

جدول ۸- تجزیه واریانس اثر روش‌های کاربرد و منابع مختلف آهن بر غلظت عناصر کم مصرف در گیاه گوجه‌فرنگی

Table 8- ANOVA for the effect of application methods and different Fe sources on micronutrient concentrations of tomato

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی	میانگین مربعات Mean of square: Mn		Fe		Cu		Zn	
		ریشه Roots	شاخساره Shoots	ریشه Roots	شاخساره Shoots	ریشه Roots	شاخساره Shoots	ریشه Roots	شاخساره Shoots
روش‌های کاربرد Application methods	1	23877.04**	1624.81**	6169.63*	2109.23 **	0.43 ns	1.08 **	1.93 ns	100.04 **
منابع آهن Sources of Fe	3	3376.85**	317.92**	3631.93 **	3947.20 **	140.13 **	11.59 **	957.17 **	41.10 **
روش‌های کاربرد× منابع آهن Application methods*Sources of Fe	3	5755.72**	375.881**	248.005 *	1699.002 **	199.14**	0.134 *	630.25 **	21.21 **
خطا Error	16	24.49	1.8	0.006	20.3	0.74	0.2	45.47	0.87
ضریب تغییرات (درصد) CV%		3.34	3.49	8.64	4.17	5.64	23.19	15.58	4.88

ns بدون تفاوت معنی‌دار و * و ** به ترتیب نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

ns: non- significant, * and **: significant at 5% and 1% of probability level, respectively.

به‌طوری که جدول مقایسه میانگین بین تیمارها (جدول ۱۱) نشان داد که بیشترین و کمترین میزان رنگدانه‌های فتوسنتزی نظیر کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل برگ‌های جوان و بالغ و همچنین مقدار کارتنوئید موجود در برگ‌های بالغ به ترتیب در تیمار کاربرد Fe-EDTA به همراه محلول غذایی (ریشه) و محلول پاشی سولفات آهن بدست آمد. همچنین بیشترین مقدار قندهای محلول و کمترین مقدار کارتنوئید برگ‌های جوان در تیمار محلول‌پاشی Fe-EDTA مشاهده شد.

کلروفیل‌ها و کاروتنوییدها ترکیبات آبدوستی هستند که در اندامک‌های خاصی همچون کلروپلاست و کروموپلاست سلول گیاهی سنتز و اندوخته می‌شوند. در گیاهان سبز، کاروتنوییدها در کلروپلاست بافت‌های سبز یافت می‌شوند درحالیکه رنگ آنها، به دلیل حضور غالب کلروفیل، مستور می‌باشد. کاروتنوییدها از طرق مختلف در فتوسنتز نقش دارند و با مولکول کلروفیل ارتباط مستقیم دارند؛ از جمله اینکه هم در فرایند انتقال انرژی به کلروفیل و هم در حفاظت نوری و جلوگیری از خسارت اکسیداتیو به کلروفیل نقش ایفا می‌کنند. در شرایط طبیعی نیز به ازای هر ۳-۴ مولکول کلروفیل یک مولکول کارتنوئید وجود دارد و رابطه مثبتی بین مقدار کلروفیل و کارتنوئید در بافت فعال فتوسنتزی وجود دارد (۶، ۳۸،۳۴).

جدول ۹- برهمکنش دو روش کاربرد کود آهن × منابع مختلف آهن بر غلظت عناصر کم مصرف (میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن خشک) در گیاه گوجه‌فرنگی

Table 9- Interaction effect of application methods ×different Fe sources on micronutrient concentrations (mg kg-1 DW) of tomato

روش‌های کاربرد Application methods	منابع آهن Sources of Fe	Mn		Fe		Cu		Zn	
		ریشه Roots	شاخساره Shoots	ریشه Roots	شاخساره Shoots	ریشه Roots	شاخساره Shoots	ریشه Roots	شاخساره Shoots
محلول‌دهی از طریق ریشه Root-applied	Fe-EDDHA	105.3±0.75^{e}	27.07±0.19^{f}	118.7±0.12^{b}	93.2±0.13^{d}	17.9±0.23^{c}	1±0.006^{b}	16.7±0.37^{c}	41.4±0.81^{cd}
	Fe-EDTA	131.5±6.6^{d}	36.88±1.86^{d}	148.4±0.23^{a}	115.03±1.004^{c}	12.5±0.11^{e}	0.6±0.057^{c}	18.4±0.35^{c}	34.2±0.58^{d}
	Fe-DTPA	102.2±0.11^{e}	26.27±0.03^{f}	131±6.35^{b}	112.3±0.88^{c}	9.8±0.92^{f}	0.2±0^{d}	16.3±0.75^{c}	38.3±0.49^{cd}
	$FeSO_4$	126.8±3.46^{d}	30.49±0.83^{e}	96.6±3.81^{c}	74.57±1.42^{e}	20.1±0.11^{b}	0.8±0.06^{bc}	17±0.29^{c}	58.1±0.77^{ab}
محلول‌پاشی برگی Foliar spray	Fe-EDDHA	253.9±2.25^{a}	65.27±0.57^{a}	88.77±6.29^{c}	95.6±0.63^{d}	15.2±0.69^{d}	1.5±0.29^{a}	23.1±0.69^{b}	64.7±0.06^{a}
	Fe-EDTA	173.8±1.44^{b}	48.75±0.4^{b}	131.4±10.03^{b}	159.6±0.83^{a}	7.6±0.63^{g}	0.9±0^{bc}	26.5±0.92^{a}	16±0.87^{e}
	Fe-DTPA	161.8±1.04^{c}	41.59±0.27^{c}	82.7±1.25^{c}	139.2±2.33^{b}	9.8±0.63^{a}	1±0.06^{b}	16.7±0^{c}	50.7±0.4^{abc}
	$FeSO_4$	128.6±0.63^{d}	30.92±0.15^{e}	63.57±1.19^{d}	74.9±0.8^{e}	15.7±0.37^{d}	0.9±0.11^{bc}	18.4±0.29^{c}	42.8±1.73^{bcd}

حروف مشابه در هر ستون و گروه تیمار نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشد.

Columns and group's treatments with the same letters are not significantly different at 5% probability level using Duncan's multiple range test.

جدول ۱۰- تجزیه واریانس اثر روش‌های کاربرد و منابع مختلف آهن بر قندهای محلول، کلروفیل‌ها و کارتنوئیدها در گیاه گوجه‌فرنگی

Table 10- ANOVA for the effect of application methods and different Fe sources on soluble sugars, chlorophylls and carotenoids contents of tomato

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	قندهای محلول Soluble sugars		کلروفیل a Chlorophyll a		کلروفیل b Chlorophyll b		کلروفیل کل Total Chlorophyll		کارتنوئید Carotenoid	
		برگ‌های بالغ Mature leaves	برگ‌های جوان Young leaves	برگ‌های بالغ Mature leaves	برگ‌های جوان Young leaves	برگ‌های بالغ Mature leaves	برگ‌های جوان Young leaves	برگ‌های بالغ Mature leaves	برگ‌های جوان Young leaves	برگ‌های بالغ Mature leaves	برگ‌های جوان Young leaves
روش‌های کاربرد Application methods	1	0.08**	0.23**	2.16**	4.48**	0.67**	1.31**	1.97**	7.29**	0.46**	0.45**
منابع آهن Sources of Fe	3	0.008^{ns}	0.011**	0.88**	1.11**	0.17**	0.13**	0.93**	1.73**	0.28**	0.26**
روش‌های کاربرد× منابع آهن Application methods×Sources of Fe	3	0.01^{ns}	0.007**	0.16**	0.47**	0.26**	0.33**	1.01**	1.41**	1.27**	1.17**
خطا Error	16	0.004	0.001	0.017	0.01	0.002	0.003	0.05	0.03	0.00007	0.0001
ضریب تغییرات CV (%)		9.21	4.58	10.45	9.08	7.04	8.57	12.02	9.93	3.20	4.76

ns بدون تفاوت معنی‌دار و * و ** به ترتیب نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns: non- significant, * and **: significant at 5% and 1% of probability level, respectively

محتوای بیشتر کلروفیل و کاروتنویید، توانایی جذب و انتقال انرژی را در گیاه افزایش می‌دهد.گزارش شده است محتوای کلروفیل a و b و کارتنوئید تحت تاثیر تغذیه گیاه قرار گرفته و تغذیه مناسب سبب بهبود محتوای این رنگیزه‌ها می‌گردد (۳۲). به‌طوری که کمبود آهن سبب کاهش قابل ملاحظه‌ای در مقدار کلروفیل a، b، کل وکارتنوئید گیاه نخود گردید (۱۱).کاربرد کود آهن تحت شرایط کمبود آهن سبب افزایش میزان کلروفیل برگ‌های جوان و بالغ گیاه نخود و عدس گردید (۱۴). شاخص SPAD گیاهان سویا و خیار تیمار شده با کلات آهن نسبت به تیمار شاهد افزایش داشت (۸). با توجه به نقش آهن در مقدار رنگیزه‌های فتوسنتزی، نوع کود آهنی که مورد استفاده قرار می‌گیرد می‌تواند بر مقدار آهن آزاد شده در بافت گیاه اثر گذاشته و در نهایت مقدار کلروفیل را تحت تاثیر قرار دهد به‌طوری که کاربرد کلات آهن و نانوکلات آهن منجر به افزایش مقدار کلروفیل a، b و کلروفیل کل گیاه ریحان نسبت به تیمار شاهد گردید و در این بین محلول‌پاشی کلات آهن تاثیر بهتری بر محتوای رنگیزه‌های فتوسنتزی داشت (۲۶). تیمار گیاهان فلفل با منابع مختلف آهن در سیستم کشت آکواپونیک، سبب تغییر در میزان رنگیزه‌های فتوسنتزی نظیر کلروفیل a، b، کلروفیل کل و کارتنوئید شد و محلول پاشی سولفات آهن بهترین تاثیر را بر فاکتورهای مورد نظر داشت ولی منابع مختلف آهن تاثیری بر مقدار قندهای محلول گیاه فلفل نداشت (۳۱)، که با نتایج ما مبنی بر افزایش مقدار کلروفیل در تیمار Fe-EDTA مطابقت ندارد. روش تغذیه نیز در رابطه با مقدار عناصری که جذب می‌شود متفاوت است. کاربرد کود آهن به محیط ریشه سبب احیای سریعتر رنگ پریدگی گیاه توت‌فرنگی نسبت به محلول‌پاشی گردید این امر به خاطر افزایش مقدار کلروفیل در بافت‌های گیاه توت‌فرنگی تیمار شده با آهن محیط ریشه بود (۲۵). محتوای کلروفیل برگ گیاه اسپاتی‌فیلوم تحت تاثیر منابع مختلف آهن و روش کاربرد قرار گرفت به طوری که بیشترین مقدار کلروفیل بافت در تیمار محلول‌پاشی Fe-EDDHA و کمترین مقدار کلروفیل در تیمار کاربرد خاکی Fe-EDTA بدست آمد. این امر احتمالاً به دلیل مقدار کم آهن آزاد شده تحت شرایط خاکی در این آزمایش بوده است (۱۸).

پارامترهای فتوسنتزی (F_v/F_m و PI)

بررسی نتایج موجود در جدول تجزیه واریانس (جدول ۱۲) بیانگر این مطلب است که اثر روش کاربرد و منابع مختلف آهن و اثر متقابل آنها بر F_v/F_m و PI برگ‌های جوان و بالغ به ترتیب در سطح ۵ درصد و ۱ درصد معنی‌دار شد. نتایج برهمکنش روش تیمار و منابع مختلف آهن بر F_v/F_m و شاخص PI در جدول آورده شده است. بررسی مقایسه میانگین بین تیمارها نشان می‌دهد (جدول ۱۳) که بالاترین و پایین‌ترین مقدار F_v/F_m و شاخص PI برگ‌های بالغ و جوان به ترتیب در تیمارهای EDTA در محیط ریشه و محلول‌پاشی سولفات آهن بدست آمد، که وجود تفاوت در بین تیمارها در برگ‌های جوان بیشتر از برگ‌های بالغ بود که این امر احتمالاً به خاطر تحرک کم آهن در گیاه می‌باشد.

کلروفیل فلورسانس یکی از راه‌های مصرف انرژی برانگیختگی در فتوسنتز می‌باشد که به‌طور گسترده‌ای در پژوهش‌های فتوسنتز به‌کار گرفته می شود. هم چنین از کلروفیل فلورسانس برای تعیین وضعیت فیزیولوژی گیاه و میزان آسیب وارده به دستگاه فتوسنتزی استفاده می‌شود (۹). یکی از پارامترهای مهم کلروفیل فلورسانس نسبت F_v/F_m است. نسبت F_v/F_m حداکثر کارایی کوانتومی فتوسیستم II برای تبدیل نور جذب شده به انرژی شیمیایی را نشان می دهد (۳۵). تنش‌های محیطی که کارایی فتوسیستم II را تحت تأثیر قرار می‌دهند باعث کاهش نسبت F_v/F_m می‌شوند (۵). کمبود آهن از یک‌طرف به دلیل کاهش محتوای کلروفیل سبب کاهش سطح دریافت کنندگی نوری شده و از طرف دیگر سبب کاهش موثر بودن فتوسیستم II را دارد (۲۲،۱۳) و زمانی که محتوای کلروفیل کاهش یابد، کلروفیل موجود مقدار فوتون بیشتری را دریافت کرده و در نتیجه نسبت F_v/F_m کاهش می‌یابد (۲۱). مقدار F_v/F_m تحت شرایط کمبود آهن کاهش قابل ملاحظه‌ای نسبت به تیمار شاهد داشت به طوری که مقدار F_v/F_m در تیمار شاهد حدود ۲۱ درصد بیشتر از مقدار F_v/F_m تحت شرایط کمبود آهن بود (۲۴). گزارش‌ها محدودی در زمینه تاثیر نوع کود آهن و روش تیمار بر پارامترهای فتوسنتزی وجود دارد، ولی آنچه که مشخص است مقدار آهنی است که از هر کود تحت شرایط مختلف در اختیار گیاه قرار می‌گیرد که می‌تواند بر خصوصیات رشدی موثر واقع گردد با این وجود طی گزارشی روستا و محسنیان (۳۱) نشان دادند که شاخص PI برگ‌های جوان و بالغ تحت تاثیر نوع کود آهن قرار گرفت و بیشترین شاخص PI در تیمار محلول پاشی سولفات آهن بدست آمد و در بین نوع برگ، برگ‌های جوان مقدار PI بیشتری نسبت به برگ‌های بالغ داشتند، که با نتایج این تحقیق مبنی بر اینکه زمانی که منابع مختلف آهن به صورت محلول‌پاشی استفاده شدند، برگ‌های جوان دارای شاخص PI بیشتری بودند، مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

از نتایج بدست آمده در این آزمایش می‌توان نتیجه‌گیری کرد که منابع مختلف کود آهن و نحوه کاربرد آن تاثیر معنی‌داری بر خصوصیات رشدی، فیزیولوژیکی و مقدار جذب عناصر معدنی گیاه گوجه‌فرنگی داشت. به‌طوری که کاربرد کود آهن Fe-EDTA به محلول غذایی بیشترین تاثیر را بر پارامترهای فیزیولوژیکی و رویشی این گیاه داشت.

جدول ۱۱- برهمکنش دو روش کاربرد کود آهن × منابع مختلف آهن بر قندهای محلول، کلروفیل‌ها و کارتنوئیدها در گیاه گوجه‌فرنگی

Table 11- Interaction effect of application methods and different Fe sources on soluble sugars, chlorophylls and carotenoids contents (mg g-1 FW) of tomato

روش‌های کاربرد Application methods	منابع آهن Sources of Fe	قندهای محلول Soluble sugars		کلروفیل a Chlorophyll a		کلروفیل b Chlorophyll b		کلروفیل کل Total Chlorophyll		کارتنوئید Carotenoid	
		برگ‌های بالغ Mature leaves	برگ‌های جوان Young leaves	برگ‌های بالغ Mature leaves	برگ‌های جوان Young leaves	برگ‌های بالغ Mature leaves	برگ‌های جوان Young leaves	برگ‌های بالغ Mature leaves	برگ‌های جوان Young leaves	برگ‌های بالغ Mature leaves	برگ‌های جوان Young leaves
محلول‌دهی از طریق ریشه Root-applied	Fe-EDDHA	0.65±0.02^{a}	0.55±0.02^{c}	1.94±0.02^{a}	1.82±0.08^{b}	0.81±0.04^{a}	0.77±0.03^{b}	2.73±0.1^{a}	2.58±0.1^{b}	0.22±0.002^{a}	0.19±0.003^{a}
	Fe-EDTA	0.63±0.02^{a}	0.58±0.03^{c}	2.03±0.01^{a}	2.15±0.08^{a}	0.81±0.01^{a}	0.99±0.05^{a}	2.81±0.1^{a}	3.27±0.2^{a}	0.23±0.003^{a}	0.13±0.01^{b}
	Fe-DTPA	0.66±0.003^{a}	0.6±0.02^{c}	1.39±0.01^{b}	1.77±0.09^{b}	0.72±0.04^{a}	0.76±0.02^{b}	2.08±0.1^{b}	2.54±0.1^{b}	0.2±0.04^{b}	0.18±0.01^{a}
	$FeSO_4$	0.71±0.03^{a}	0.63±0.01^{c}	0.97±0.01^{cd}	0.55±0.02^{d}	0.57±0.03^{bc}	0.49.05^{cd}	1.52±0.2^{c}	1.04±0.1^{cd}	0.17±0.03^{c}	0.2±0.03^{a}
محلول‌پاشی برگی Foliar spray	Fe-EDDHA	0.72±0.07^{a}	0.74±0.01^{b}	0.79±0.09^{d}	0.68±0.03^{cd}	0.55±0.03^{bc}	0.33±0.02e	1.57±0.1^{bc}	1.01±0.1^{cd}	0.13±0.03^{d}	0.11±0.01^{bc}
	Fe-EDTA	0.87±0.01^{a}	0.86±0.02^{a}	1.29±0.02^{b}	0.87±0.01^{c}	0.59±0.06^{b}	0.51±0.01^{c}	1.98±0.1^{bc}	1.39±0.1^{c}	0.16±0.01^{c}	0.1±0.01^{c}
	Fe-DTPA	0.72±0.01^{a}	0.71±0.01^{b}	1.16±0.01^{cb}	0.8±0.06^{c}	0.46±0.03^{cd}	0.37±0.02^{de}	1.69±0.2^{bc}	1.17±0.1^{cd}	0.13±0.01^{d}	0.11±0.01^{bc}
	$FeSO_4$	0.81±0.05^{a}	0.83±0.01^{a}	0.6±0.02^{e}	0.48±0.01^{d}	0.37±0.05^{d}	0.33±0.02^{e}	0.95±0.2^{d}	0.81±0.02^{d}	0.13±0.05^{d}	0.11±0.02^{bc}

حروف مشابه در هر ستون و گروه تیمار نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشد.

Columns and group's treatments with the same letters are not significantly different at 5% probability level using Duncan's multiple range test

جدول ۱۲- نتایج تجزیه واریانس اثر روش‌های کاربرد و منابع مختلف آهن بر پارامترهای فتوسنتزی (Fv/Fm و PI) در گیاه گوجه‌فرنگی

Table 12- ANOVA for the effect of application methods and different Fe sources on the Fv/Fm and PI values of tomato

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of square			
		کلروفیل فلورسانس متغییر به حداکثر (F_v/F_m)		شاخص کارایی دستگاه فتوسنتزی (PI)	
		برگ‌های بالغ Mature leaves	برگ‌های جوان Young leaves	برگ‌های بالغ Mature leaves	برگ‌های جوان Young leaves
روش‌های کاربرد Application methods	1	0.03**	0.019**	0.74**	0.81**
منابع آهن Sources of Fe	3	0.003**	0.004**	0.77**	0.52**
روش‌های کاربرد× منابع آهن Application methods*Sources of Fe	3	0.0004*	0.0007*	0.1**	0.2**
خطا Error	16	0.0001	0.00015	0.004	0.006
ضریب تغییرات CV (%)		1.26	1.73	3.89	5.37

ns بدون تفاوت معنی‌دار و * و ** به ترتیب نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد

ns: not significant, * and **: significant at 5% and 1% of probability level, respectively

جدول ۱۳- برهمکنش نحوه کاربرد کودهای آهن × منابع مختلف آهن بر پارامترهای فتوسنتزی (Fv/Fm و PI) در گیاه گوجه فرنگی

Table 13- Interaction effect of application methods ×different Fe sources on the Fv/Fm and PI values of tomato

روش‌های کاربرد Application methods	منابع آهن Sources of Fe	کلروفیل فلورسانس متغیر به حداکثر (F_v/F_m)		شاخص کارایی دستگاه فتوسنتزی (PI)	
		برگ‌های بالغ Mature leaves	برگ‌های جوان Young leaves	برگ‌های بالغ Mature leaves	برگ‌های جوان Young leaves
محلول‌دهی از طریق ریشه Root-applied	Fe-EDDHA	0.75±0.004^{b}	0.75±0.001^{b}	1.76±0.001^{b}	1.52±0.079^{b}
	Fe-EDTA	0.77±0.004^{ab}	0.79±0.001^{a}	2.46±0.001^{a}	1.36±0.08^{a}
	Fe-DTPA	0.78±0.003^{a}	0.75±0.003^{b}	1.47±0.003^{c}	1.45±0.02^{bc}
	$FeSO_4$	0.74±0.006^{c}	0.74±0.02^{bc}	1.46±0.02^{cd}	1.45±0.02^{bc}
محلول‌پاشی برگی Foliar spray	Fe-EDDHA	0.67±0.008^{e}	0.70±0.001^{d}	1.26±0.001^{e}	1.15±0.04^{e}
	Fe-EDTA	0.71±0.003^{d}	0.72±0.01^{e}	1.82±0.01^{b}	1.48±0^{b}
	Fe-DTPA	0.72±0.008^{cd}	0.72±0.003^{c}	1.36±0.003^{de}	1.32±0.01^{cd}
	$FeSO_4$	0.66±0.003^{f}	0.66±0.0002^{e}	1.30±0.0002^{e}	1.22±0.01^{de}

حروف مشابه در هر ستون و گروه تیمار نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن می‌باشد.

Columns with the same letters are not significantly different at 5% probability level using Duncan's multiple range test

لذا به منظور پیاده کردن برنامه صحیح مدیریت تغذیه‌ای، استفاده از منبع کود مناسب و نحوه کاربرد آن می‌تواند در بهبود عملکرد کمی و کیفی تاثیر گذار باشد. بنابراین در شرایط pH خنثی محلول غـذایی، کاربرد کود آهن Fe-EDTA به محلول غذایی را می‌توان بـه عنـوان موثرترین منبع در سیستم آب‌کشت برای گوجه‌فرنگی توصیه کرد.

منابع

1- Abad Farooqi A.H., Shukla Y.N., Sharma S., and Bansal R.P. 1994. Relationshio between gibberellin and cytokinin activity and flowering in *Rosa damascene* Mill. Plant Growth Regulation 14: 109-113.

2- Bertamini M., Nedunchezhian N., and Borghi B. 2001. Effect of iron deficiency induced changes in photosynthetic pigments, ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase and photosystem activities in field grown grapevine (*Vitis vinifera* L. cv. Pinot noir) leaves. Photosynthetica 39: 59-65.

3- Bityutskii N., Pavlovic J., Yakkonen K., Maksimovi V., and Nikolic M. 2014. Contrasting effect of silicon on iron, zinc and manganese status and accumulation of metal-mobilizing compounds in micronutrient-deficient cucumber. Plant Physiology and Biochemistry 74: 205-211.
4- Briat J. F., Curie C., and Gaymard F. 2007. Iron utilization and metabolism in plants. Current Opinion in Plant Biology 10(3): 276–282.
5- Calatayud A., and Barreno E. 2004. Response to ozone in two lettuce varieties on chlorophyll a fluorescence, photosynthetic pigments, and lipid peroxidation. Plant Physiology and Biochemistry 42: 549-555.
6- Delgado-Pelayo R., Gallardo-Guerrero L., and Hornero-Méndez D. 2014. Chlorophyll and carotenoid pigments in the peel and flesh of commercial apple fruit varieties. Food Research International.
7- Ghasemi S., Khoshgoftarmanesh A.H., Afyuni M., and Hadadzadeh H. 2014. Iron (II)–amino acid chelates alleviate salt-stress induced oxidative damages on tomato grown in nutrient solution culture. Scientia Horticulturae 165: 91-98.
8- Gonzalo M.J., Lucena J., and Hernández-Apaolaza L. 2013. Effect of silicon addition on soybean (*Glycine max*) and cucumber (*Cucumis sativus*) plants grown under iron deficiency. Plant Physiology and Biochemistry 70: 455-461.
9- Hakam P., khanizade S., Deell J.R., and Richr C. 2000. Assessing chilling tolerance in roses using chlorophyll fluorescence. HortScience 35: 184-186.
10- Irigoyen J.J., Emerich D.W., and Sanchez-Diaz M. 1992. Water stress induced changesin concentrations of proline and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medicago sativa*) plants. Physiologia Plantarum 84: 67-72.
11- Iturbe-Ormaetxe I., Moran J.F., Arrese-Igor C., Gogorcena Y., Klucas R.V., and Becana M. 1995. Activated oxygen and antioxidant defences in iron-deficient pea plants. Plant Cell Environ 18: 421–429.
12- Khoshgoftarmanesh A.H. 2007. *Principle of plant nutrition* (1th Edition). Sanati Esfahan University Press. Esphahan.
13- Larbi A., Abadia A., Abadia J., and Morales F. 2006. Down co-regulation of light absorption, photochemistry, and carboxylation in Fe-deficient plants growing in different environments. Photosynthesis Research 89: 113–126.
14- Mahmoudi H., Ksouri R., Gharsalli M., and Lacha M. 2005. Differences in responses to iron deficiency between two legumes: lentil (*Lens culinaris*) and chickpea (*Cicer arietinum*). *Journal of* Plant Physiology 162: 1237-1245.
15- Malekuti M.J., and Bani-Gheybi M. 2000. Determine the effective critical nutrients in the soil, plants and fruit in order to increase yield and quality of strategic products (2^{th} Ed). Dissemination of Agricultural Education. Kraj, Iran.
16- Marschner H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. (2^{th} Ed). Academic Press, New York. 31.
17- Milner M.J., Seamon J., Craft E., and Kochian L.V. 2013. Transport properties of members of the ZIP family in plants and their role in Zn and Mn homeostasis. Journal of Experimental Botany 64: 369-381.
18- Mohamadipoor R., Sedaghathoor S., and Khomami A.M. 2013. Effect of application of iron fertilizers in two methods 'foliar and soil application' on growth characteristics of *Spathyphyllum illusion*. European Journal of Experimental Biology 3(1): 232-240.
19- Moosavi A.A., and Ronaghi A. 2011. Influence of foliar and soil applications of iron and manganese on soybean dry matter yield and iron-manganese relationship in a Calcareous soil. Australian Journal of Crop Science 5(12): 1550-1556.
20- Moraghan J.T. 1992. Iron- manganese relationship in white lupine, grown on a Calciaquoll. Soil Science Society of America Journal 56: 471- 475.
21- Morales F., Abadia A., and Abadia J. 2006. Photoinhibition and photoprotection under nutrient deficiencies, drought and salinity. In: Demmig-Adams, B., et al. (Eds.), Photoprotection, Photoinhibition, Gene Regulation, and Environment. Springer, the Netherlands.
22- Morales F., Belkhodj R., Abadí A., and Abadí J. 2000. Photosystem II efficiency and mechanisms of energy dissipation in iron-deficient, field-grown pear trees (*Pyrus communis* L.). Photosynthesis Research 63: 9–21.
23- Olsen S.R., Cole C.V., Watanabe F.S., and Dean L.A. 1954. Estimation of Available Phosphorous in Soil by Extraction with Sodium Bicarbonate. USDA Circ. U.S. Gov. Print. Office, Washington, D. C., U.S.A.
24- Osorio J., Osorio M. L., Correiaa P.J., Varennesc A., and Pestanaa M. 2014. Chlorophyll fluorescence imaging as a tool to understand the impact of iron deficiency and resupply on photosynthetic performance of strawberry plants. Scientia Horticulturae 165: 148–155.
25- Pestana M., Correia P.J., de-Varennes A, Abada J., and Faria E.A. 2001. Effectiveness of different foliar iron applications to control iron chlorosis in orange trees grown on a calcareous soil. Journal of Plant Nutrition 24(5): 613-622.
26- Peyvandi M., Parande H., and Mirza M. 2011. Comparison of Nano Fe Chelate with Fe Chelate Effect on Growth Parameters and Antioxidant Enzymes Activity of *Ocimum basilicum.* New Cell Mol Biotechnology 1(4): 1-12.
27- Pich A., Scholz G., and Stephan U. W. 1994. Iron-dependent changes of heavy metals, nicotianamine, and citrate in different plant organs and in xylem exudate of two tomato genotypes. Nicotianamine as possible copper translocator. Plant and Soil 165(2): 189-196.

28- Pooladvand S., Ghorbanli M., and Farzami S. M. 2012. Effect of various levels of iron on morphological, biochemical, and physiological properties of *Glycine max* var. Pershing. Iranian Journal of Plant Physiology 2(4): 531-538.
29- Porra R.J. 2002. The chequered history of the development and use of simultaneous equations for the accurate determination of chlorophylls *a* and *b*. Photosynthesis Research 73: 149–156.
30- Roosta H.R., and Hamidpour M. 2013. Mineral nutrient content of tomato plants in aquaponic and hydroponic systems: effect of foliar application of some macro- and micro-nutrients. Journal of Plant Nutrition 36: 2070-2083.
31- Roosta H.R., and Mohsenian Y. 2012. Effects of foliar spray of different Fe sources on pepper (*Capsicum annum* L.) plants in aquaponic system. Scientia Horticulturae 146: 182–191.
32- Roosta H.R., and Schjoerring J.K. 2007. Effects of ammonium toxicity on nitrogen metabolism and elemental profile of cucumber (*Cucumis sativus* L., cv. Styx) plants. Journal of Plant Nutrition 30: 1933-1951.
33- Saberi Z. 2005. Application of Zeolit, Mica and some inert material as the substrate of tomato in hydroponic system. M.Sc. Thesis. Faculty of Agriculture thesis of Esfahan University. (In Farsi).
34- Singh P., Agrawal M., and Agrawal S.B. 2011. Differences in Ozone Sensitivity at Different NPK Levels of Three Tropical Varieties of Mustard (*Brassica campestris* L.): Photosynthetic Pigments, Metabolites, and Antioxidants. Water Air Soil Pollution 214: 435–450.
35- Soltani A. 2004. *Chlorophyll Fluorescence and Its Application*. Internal Press. University of Agricultural Science and Natural Resource, Gorgan, Iran.
36- Tagliavini M., Abadia J., Rombola D., Abadia A., Tsipouridis C., and Marangoni, B. 2000. Agronomic means for the control of iron chlorosis in deciduous fruit plants. Journal of Plant Nutrition 23: 2007-2022.
37- Taiz L., and Zeiger E. 1998. *Assimilation of mineral nutrients. In: Plant Physiology* (2nd Edition). Sinauer Assoc. Inc., Publishers, Sunderland MA. Pp: 323-345.
38- Telfer A., Pascal A., and Gall A. 2008. Carotenoids in Photosynthesis. In: Britton, G., Liaaen-Jensen, S. and Pfander, H. (Eds). Carotenoids: natural fucntions, vol. 4. Basel, Switzerland; Boston.
39- Welch R. M., Allaway W. H., House W. A., and Kubota I. 1991. Geographic distribution of trace element problems. In: Mordvedt, J.J., Cox, F.R., Shuman, L.M., Welch, R.M. (Eds.), Micronutrients in Agriculture, seconded. SSSA Book Series. Madison, WI, USA.

Journal of Horticultural Science
Vol. 34, No.3, Fall 2020, P. 465-479
ISSN: 2008 - 4730

نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، ص. ۴۷۹-۴۶۵
شاپا: ۴۷۳۰ - ۲۰۰۸

Effect of Application Methods and Different Sources of Fe Fertilizer on the Growth and Physiological Characteristics of Tomato in Hydroponic System

M. Moradi[1*]-H.R. Roosta[2]-A. Estaji[3]
Received: 25-09-2019
Accepted: 14-09-2020

Introduction: Iron is an essential element for plant growth which is involved in many plant processes such as photosynthesis and activating enzymes involved in mitochondrial and photosynthetic electron transfer. Iron (Fe) deficiency is a common disorder affecting plants in many areas of the world, and is chiefly associated with high pH, calcareous soils. Plant Fe deficiency has economic significance, because crop quality and yields can be severely compromised. Deficiency or low activity of iron in the plant causes chlorophyll is not produced in sufficient quantities and the leaves are pale. The decrease of chlorophyll leading to the reduction of the plant food processor and finally the yield is reduced. Iron fertilizers are grouped into three main classes: inorganic Fe compounds (soluble ones such as $FeSO_4{\cdot}7HO$), synthetic Fe chelates [such as ethylenediamine tetraacetic acid (EDTA) and ethylenediamine-di (o-hydroxyphenylacetic acid) (EDDHA)] and natural Fe-complexes (humates and amino acids). Iron could be applied in different chemical forms, including chelates and inorganic Fe salts. To our knowledge, no published data for tomato growing under hydroponic conditions have assessed the effects of application methods and different sources of Fe Fertilizer on plant yields, growth and nutritional condition. Therefore, this work was carried out to study the effect of $FeSO_4$, Fe-EDTA, Fe-EDDHA and Fe-DTPA as a foliar spray and root-applied on the growth, yield, physiological characteristics of tomato plants under hydroponic system.

Material and Methods: Regarding to the role of application methods and Fe sources on the absorption of this element and the process of photosynthesis and plant growth, a factorial experiment was carried out to determine the best methods of application (add to nutrient solution and foliar spray) and iron fertilizer ($FeSO_4$, Fe-EDTA, Fe-DTPA and Fe-EDDHA) for growth and physiological characteristics of tomato in hydroponic system with three replications. Analysis of variance (ANOVA) was performed using the SAS program. If ANOVA determined that the effects of the treatments were significant ($P \leq 0.01$ for F-test), then the treatment means were separated by Tukey range test.

Result and Discussion: The results indicated that the plant height, dry and fresh weight affected by the application methods and iron fertilizer, so that the maximum and minimum plant height, and dry and fresh weight were obtained in application of Fe-EDTA to nutrient solution and foliar application of $FeSO_4$, respectively. Mohammadipour et al., (2013) reported that by applying nano-chelate fertilizer of iron, iron sulfate, Fe-EDTA and Fe-EDDHA by two methods of foliar application and root-applied (soil) of Spathiphyllum plant, a significant difference between the types of fertilizer and application method were used. So that the maximum height and dry weight of the plant were obtained in Fe-EDDHA fertilizer treatment to the root application. The root and leaf Fe concentration affected by source of iron and the method of application so Fe-EDTA added to nutrient solution and foliar application had the highest amount of Fe in the root and leaf, respectively. Cu, Mn, Zn and some macro elements such as; Mg and P also influenced by the type of fertilizer and method of application. Roosta and hamidpour (2013) showed that the foliar application of Fe-EDDHA under aquaponic and hydroponic conditions increased the amount of K, Mg, Fe and decreased the concentration of Zn, Cu and Mn compared to the control treatment in tomato plants. Current experiment results showed that the maximum chlorophyll content (a, b and total) and maximal quantum yield of PS II photochemistry (F_v/F_m) and performance index (P_i) values of young and old leaves were found with Fe-EDTA in nutrition solution and the highest carotenoids and sugar soluble content were found in $FeSO_4$ in nutrient solution and foliar application, respectively. Roosta and Mohsenian (2012) reported that there was also a linear relationship between leaf-Fe and chlorophyll content in pepper. The application of inorganic Fe salt (FeSO4) and Fe-chelates (Fe-EDDHA and Fe-EDTA) on pepper plants increased Chl a content in leaves of these plants compared to the control.

1- Lecturer, Department of Horticulture Science and Engineering, High Educational Complex of Torbat-e Jam
(*- Corresponding Author Email: moradi.ob@gmail.com)
2- Professor, Department of Horticulture Science, Faculty of Crop Sciences, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
3- Ph.D. Student, Department of Horticulture Science, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan

Additionally, several investigations have described the beneficial effects of foliar Fe. Iron deficiency caused a significant reduction in the amount of chlorophyll a, b, total and carotenoids of pea (Iturbe-Ormaetxe et l., 1995).

Conclusion: Based on the results, Fe-EDTA and Fe-EDDHA had the highest significant effect on vegetative growth of tomato, respectively. Thus, at neutral pH of nutrient solution as occurred in this experiment, application of Fe-EDTA in nutrition solution is suitable than the other source of iron fertilizer for tomato growth.

Keywords: Application methods, Hydroponic, Iron, Tomato